

THÀNH LẬP BẢN ĐỒ BỀ MẶT KHÔNG THẤM SỬ DỤNG DỮ LIỆU ẢNH VỆ TINH SENTINEL-2 Ở KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Phạm Văn Tùng

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Thành phố Hồ Chí Minh là đô thị lớn có tốc độ đô thị hóa nhanh ở nước ta. Theo đó, bề mặt không thấm được coi là chìa khóa để xác định quá trình đô thị hóa, sự phát triển bền vững, và phục vụ quy hoạch và quản lý đô thị. Thành lập bản đồ bề mặt không thấm sử dụng ảnh vệ tinh là phương pháp hiệu quả cho phạm vi rộng lớn và đảm bảo độ tin cậy. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh Sentinel-2 thu được trong năm 2021 đã được sử dụng để phân loại thành bốn lớp phủ bề mặt bao gồm nước, thực vật, đất trống và bề mặt không thấm sử dụng thuật toán phân loại KNN (fuzzy K-Nearest Neighbors) trên phần mềm eCognition. Nghiên cứu sẽ tập trung vào đánh giá kết quả phân loại các lớp phủ và bề mặt không thấm để khẳng định tính hiệu quả và độ tin cậy của phương pháp thực hiện. Diện tích của bề mặt không thấm năm 2021 là cơ sở để so sánh với các diện tích bề mặt không thấm của các năm trước đó cung cấp được sự mở rộng diện tích bề mặt không thấm trong quá trình đô thị hóa ở thành phố lớn nhất nước ta giúp cho các nhà quy hoạch thành phố đưa ra các chính sách quy hoạch phát triển bền vững đô thị.

Từ khóa: Thành phố Hồ Chí Minh; Đô thị hóa; Bề mặt không thấm; Sentinel-2; Phân loại KNN.

Abstract

Establishment of the impervious surfaces map using Sentinel-2 data: a case study in Ho Chi Minh City

Ho Chi Minh city is known as a quick urbanization area in Vietnam. Meanwhile, impervious surfaces to be known as the key to identify the urbanization, urban sustainable development as well as planning of natural resources. Using satellite data to create the impervious surface map is an effective method and assurance of reliability for large areas. In this study, temporal Sentinel-2 data acquired in 2021 were classified for four classes including open water, vegetation, barren, and impervious surface area using the KNN classifier algorithm by eCognition software. The accuracy of the classification of land cover and impervious surfaces was evaluated in order to affirm the effectiveness and reliability of the classification method. The area of impervious surfaces in 2021 was compared with those in 2002, 2009 and 2016 to see the expansion of the impervious surface area related to the urbanization of Ho Chi Minh city. Results of this study therefore will support policy makers in developing planning policies for sustainable development of the urban area there.

Keywords: Ho Chi Minh City; Urbanization; Impervious surface; Sentinel-2; KNN classification.

1. Đặt vấn đề

Bề mặt không thấm nước là các vật liệu ngăn cản sự thâm nhập của nước vào đất như hệ thống giao thông, mái nhà, bãi đậu xe,... Bề mặt không thấm là một chỉ số quan trọng sử dụng đánh giá mức độ đô thị hóa và các tác động của các hệ sinh thái [1, 13]. Một số nghiên cứu trước đây cho thấy sự thay đổi diện tích bề mặt không thấm (BMKT) có liên quan đến sự ảnh hưởng đến thủy văn, cấu trúc sinh cảnh, chất lượng nước và đa dạng sinh học của hệ thống thủy sinh [13].

Trong những năm gần đây có rất nhiều kỹ thuật chiết tách bề mặt không thấm đã được phát triển, từ các phương pháp phân loại theo hướng đối tượng sử dụng các hình ảnh có độ phân giải không gian cao đến kỹ thuật dưới điểm ảnh (Sub-pixel), phân tích mô hình phân tích hỗn hợp phổ (SMA - Spectral Mixture Analyze model family) và mô hình hồi quy sử dụng ảnh có độ phân giải không gian trung bình hoặc thấp. Việc lập bản đồ bề mặt không thấm nước đã được áp dụng ở các quy mô khác nhau từ địa phương, khu vực đến quốc gia hoặc toàn cầu [8]. Hầu như các nghiên cứu trước đây đã áp dụng thành công cho khu vực thành thị [8]. Nếu các phương pháp phân loại truyền thống trên mỗi điểm ảnh chẳng hạn như phân loại xác suất cực đại có khả năng phân loại các lớp sử dụng đất/ lớp phủ mặt đất (LULC - Land Use/Land Cover), kết quả phân loại nhận được thường có độ chính xác rất thấp đối với các vùng đô thị. Bởi vậy, phương pháp phân loại mềm có chính xác cao hơn được lựa chọn để phục vụ chiết tách bề mặt không thấm cho khu vực nghiên cứu đô thị.

Việc nâng cao độ chính xác phân loại đất đô thị là một vấn đề quan trọng trong các nghiên cứu trước đây về viễn thám [10]. Các phương pháp tiếp cận khác nhau đã được áp dụng, bao gồm cả việc kết hợp dữ liệu địa lý, dữ liệu điều tra dân số và đặc trưng cấu trúc hoặc thông tin phổ của ảnh viễn thám. Ngoài ra để nâng cao độ chính xác của quá trình phân loại ảnh, các kiến thức chuyên gia, phương pháp phân loại mờ và sự kết hợp dữ liệu ảnh đa bộ cảm đã được sử dụng trong các nghiên cứu. Tuy nhiên, việc phân loại đất đô thị vẫn là một khó khăn trong trường hợp các dữ liệu viễn thám có độ phân giải trung bình và thấp do sự lẫn phổ trong một điểm ảnh và lẫn phổ giữa các loại lớp phủ trên mặt đất khác nhau.

Phương pháp phân loại điểm ảnh (Per-pixel) chỉ xử lý thuần túy hình ảnh từng điểm ảnh cụ thể, trong khi đó phương pháp phân loại dưới điểm ảnh xử lý định lượng nhiều lớp đối tượng trong mỗi điểm ảnh đơn. Phương pháp phân loại dưới điểm ảnh tạo ra các ảnh thành phần với các giá trị pixel lấy từ phần nguyên hoặc phần dư của điểm ảnh có chứa thành phần mỗi lớp đối tượng [12]. Đối với các điểm ảnh không bị lẫn phổ, phân tích hỗn hợp phổ (SMA) cho đến nay là phương pháp phổ biến nhất trong số các phương pháp phân loại dưới điểm ảnh. Việc phân tích hỗn hợp phổ tuyến tính (LSMA - Linear Spectral Mixture Analysis) và phân tích hỗn hợp phổ đa mẫu (MESMA - Multiple End-member Spectral Mixture Analysis) đã được chứng minh là phương pháp hữu hiệu được sử dụng để chiết xuất thông tin bề mặt không thấm từ các ảnh vệ tinh Landsat. Tuy nhiên, việc lựa chọn các thành phần mẫu đồng nhất phù hợp vẫn

Nghiên cứu

là thách thức lớn nhất trong phương pháp LSMA [9, 16, 17].

Zadeh (1965) đã giới thiệu khái niệm phân loại mờ để mô tả và định lượng sự không chính xác. Phương pháp phân loại mờ đã thu hút được sự quan tâm ngày càng tăng đối với việc phân loại dưới điểm ảnh, và trong chiết tách thông tin bề mặt không thấm [2, 4, 7, 14]. Phương pháp phân loại mờ tạo ra kết quả chính xác hơn so với phương pháp LSMA đối với khu vực có mật độ dân cư cao và mật độ dân cư thấp [14]. Phương pháp phân loại fuzzy-SMA đã được đề xuất trong các nghiên cứu trước đó, trong đó giá trị trung bình mờ và hiệp phương sai mờ được lấy từ các mẫu giám định thông qua phân tích hỗn hợp phổ (SMA), trong khi giá trị các hằng số được sử dụng trong phân loại mờ truyền thống [14, 18].

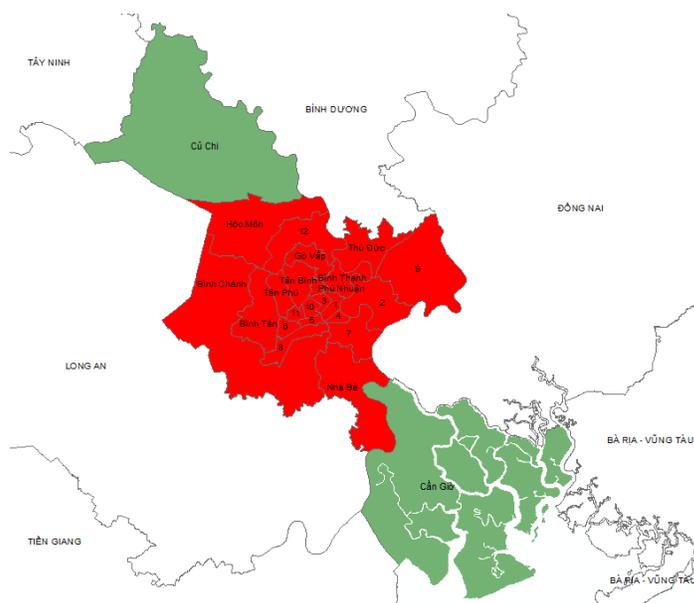
Ngoài ra, chỉ số IBI (Index Based Built-up Index) lấy từ ảnh Landsat được tính toán từ chỉ số SAVI (Soil Adjusted

Vegetation Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) và NDBI (Normalized Difference Built-up Index) [9]. Chỉ số bề mặt không thấm ISI (Impervious Surface Index) được tính toán từ 4 kênh phổ của ảnh SPOT-5 [11]. Đây là một vài nghiên cứu tính toán chỉ số đất xây dựng và bề mặt không thấm trực tiếp từ ảnh nhưng độ chính xác phụ thuộc hoàn toàn vào ngưỡng được chọn để chiết tách được bề mặt không thấm. Do vậy phân loại hướng đối tượng KNN với vùng mẫu trực tiếp sẽ khắc phục được sự lựa chọn ngưỡng chưa hợp lý của các phương pháp nêu trên.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh Sentinel-2 được sử dụng để phân loại các lớp phủ đất bao gồm các bề mặt không thấm, thực vật, nước mặt và đất trống bằng thuật toán KNN (fuzzy K-Nearest Neighbors) và tính toán diện tích bề mặt không thấm ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.

2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Khu vực nghiên cứu



Hình 1: Khu vực nghiên cứu - TP. Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh nằm ở miền Nam của Việt Nam (10°46' vĩ độ Bắc và 106°42' kinh độ Đông) là trung tâm kinh tế, dịch vụ, du lịch, văn hoá và cảnh quan thiên nhiên. Đây là khu vực nằm bên sông Sài Gòn (Hình 1) với tổng diện tích khoảng 2.096 km² có dân số 8.837.544 người vào 07/2021. Sự phát triển kinh tế mạnh mẽ đã thúc đẩy việc mở rộng các khu công nghiệp, các khu đô thị, hệ thống giao thông, và cơ sở hạ tầng. Đây là nguyên nhân chính gây ra sự gia tăng bề mặt không thấm ở khu vực này.

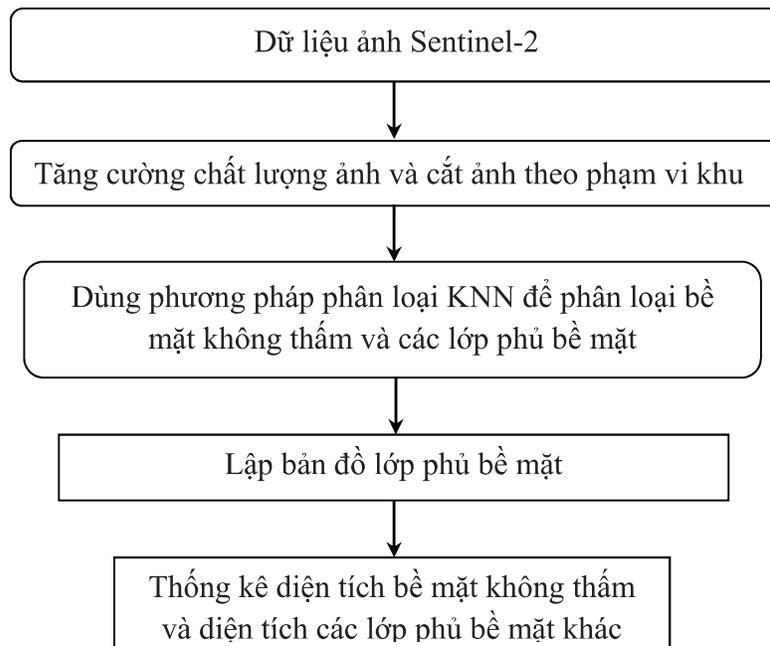
2.2. Dữ liệu sử dụng

Bản đồ và các ảnh vệ tinh là dữ liệu cần thiết cho nghiên cứu này. Để chuẩn bị các dữ liệu, chúng tôi sử dụng bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỷ lệ 1/10000 được thành lập năm 2020 của Tổng cục Quản lý đất đai, Bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp. Các ảnh vệ tinh được sử dụng để chiết xuất bề mặt không thấm là dữ liệu ảnh Sentinel-2. Bảng 1 cho thấy các thông số chi tiết của ảnh vệ tinh đã được sử dụng.

Bảng 1. Thông tin dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu

Vệ tinh	Bộ cảm	Ngày chụp	Độ phân giải không gian (m)
Sentinel-2	MSI	07/04/2021	10

3. Phương pháp nghiên cứu



Hình 2: Sơ đồ quy trình thực nghiệm thành lập bản đồ bề mặt không thấm

Bốn loại lớp phủ bề mặt được phân loại từ các ảnh vệ tinh Sentinel-2 sử dụng phương pháp phân loại K-Nearest Neighbors (KNN). Kết quả phân loại các ảnh vệ tinh sẽ được sử dụng để thống kê diện tích bề mặt không thấm bằng các

công cụ GIS. Toàn bộ quy trình thực nghiệm cho nghiên cứu này được thể hiện trong Hình 2.

3.1. Tiền xử lý ảnh

Ảnh Sentinel-2 sử dụng 04 kênh Red (R), Green (G), Blue (B) và Near-Infrared

Nghiên cứu

(NIR) có độ phân giải không gian 10m đã được hiệu chỉnh khí quyển và nắn chỉnh về lưới chiếu UTM. Sau đó, chúng được cắt theo ranh giới của khu vực nghiên cứu tại thành phố Hồ Chí Minh (Hình 3). Các

tấm ảnh đã được cắt này được nâng cao chất lượng bằng cách kéo giãn độ tương phản và sử dụng các phép lọc không gian để phục vụ cho việc phân loại thành bốn lớp đối tượng.



Hình 3: Ảnh cắt ở khu vực TP. Hồ Chí Minh chụp ngày 07/04/2021

3.2. Phương pháp phân loại mờ người láng giềng gần nhất

Phương pháp phân loại mờ người láng giềng gần nhất (Fuzzy KNN) là phương pháp phân loại có giám định dùng để phân loại bề mặt không thám, đây là một phương pháp tốt để phân lớp các lớp đối tượng bề mặt ở cấp độ pixel [6]. Phân loại KNN có thể thực hiện cả phân loại cứng và mềm. KNN dùng tập hợp con của tất cả các dữ liệu mẫu để xác định một lớp của điểm ảnh hoặc các thành viên của một lớp. Trong phương pháp phân loại mờ KNN tỷ lệ phần trăm của mỗi nhóm trong số k-láng giềng gần nhất được gán cho điểm ảnh như là một mức độ của

thành viên đối với nhóm đó. Theo quy tắc phân loại mờ KNN, mức độ thành viên của mẫu kiểm tra x đến lớp c được tính như sau:

$$\mu_i(x) = \frac{\sum_{j=1}^k \mu_{ij} d^2(x-x_j)}{\sum_{j=1}^k d^2(x-x_j)} \quad (1)$$

Trong đó: $i=1,2,3,\dots,C$ (số lớp cần phân loại), và $j=1,2,3,\dots,k$ (số láng giềng gần nhất). μ_{ij} là thành viên của mẫu x_j từ tập hợp mẫu đến lớp i , trong số k láng giềng gần nhất của x . Giá trị của k được giới hạn trong lớp dữ liệu mẫu nhỏ nhất [19].

Để thu thập các vùng mẫu, tôi sử dụng các chỉ số ISI, SAVI, NDWI và SI

để tham khảo. Trong đó, ngưỡng giá trị của chỉ số ISI được sử dụng nhằm xây dựng ra bộ mẫu chuẩn cho lớp bề mặt không thấm. Ngưỡng giá trị của chỉ số SAVI được sử dụng nhằm xây dựng ra bộ mẫu chuẩn cho lớp thực vật. Ngưỡng giá trị của chỉ số NDWI được sử dụng nhằm xây dựng ra bộ mẫu chuẩn cho lớp mặt nước. Ngưỡng giá trị của chỉ số SI được sử dụng nhằm xây dựng ra bộ mẫu chuẩn cho lớp đất trống khu vực nghiên cứu.

3.3. Phương pháp đánh giá kết quả phân loại ảnh

Đánh giá độ chính xác phân loại theo mẫu kiểm chứng. Theo Congalton (1991) [3], số lượng mẫu tốt nhất để kiểm chứng ít nhất là 50 mẫu trên 1 loại lớp sử dụng đất/ lớp phủ mặt đất. Độ chính xác phân loại được đánh giá bằng ma trận sai số và chỉ số thống kê Kappa (κ).

Chỉ số thống kê κ được tính theo công thức [5]:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (2)$$

Trong đó:

N: Tổng số điểm lấy mẫu

r: Số lớp đối tượng phân loại

x_{ii} : Số điểm đúng trong lớp thứ i

x_{i+} : Tổng số điểm lớp thứ i của mẫu

x_{+i} : Tổng số điểm lớp thứ i sau phân loại

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

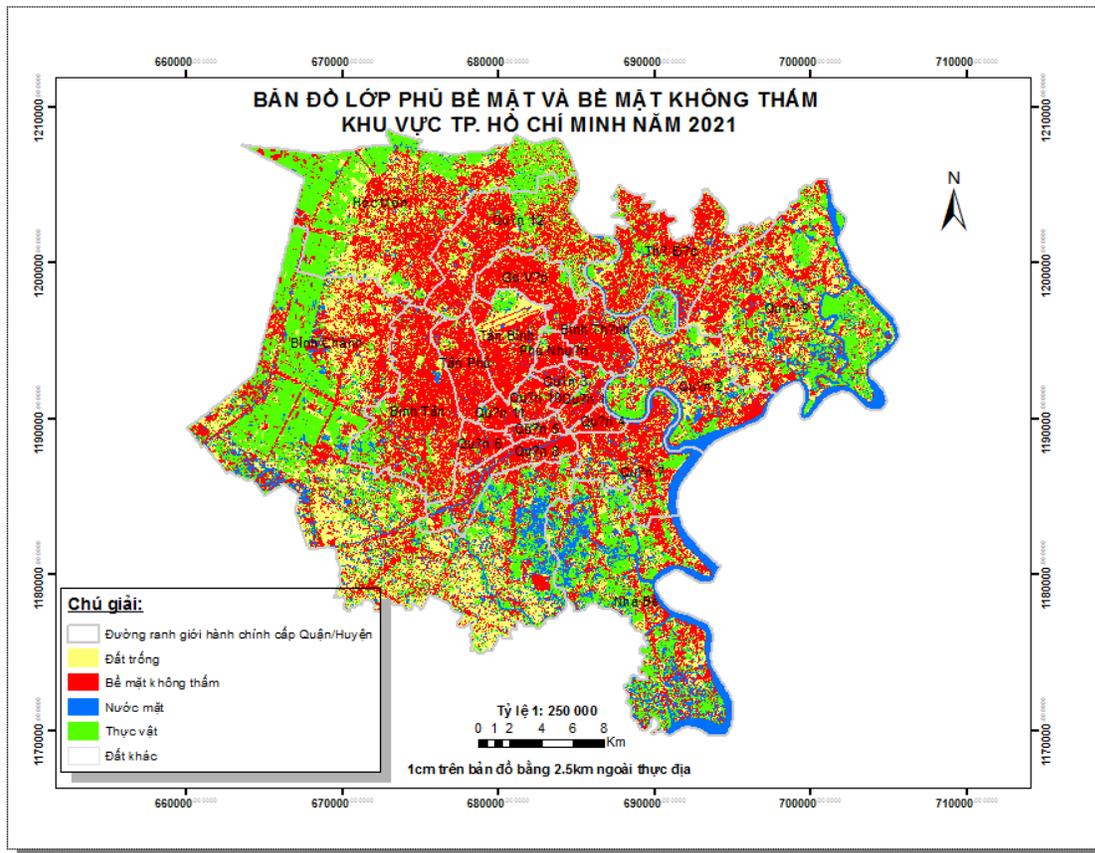
Từ dữ liệu ảnh Sentinel-2 khu vực thành phố Hồ Chí Minh với 04 kênh ảnh RGB và NIR, phương pháp phân loại mờ KNN được sử dụng để phân loại các lớp phủ bề mặt phục vụ cho việc thành lập bản đồ các lớp phủ bề mặt năm 2021 (Hình 4). Theo bản đồ lớp phủ bề mặt này, diện tích nước mặt, thực vật, đất trống và bề mặt không thấm được tính toán bằng công cụ tính diện tích trên phần mềm Arc GIS 10.2, sau đó xuất kết quả sang phần mềm Excel để thống kê diện tích các loại đất trên bản đồ và đưa ra trong Bảng 2. Kết quả này so với kết quả nghiên cứu trước của tác giả [15] cho thấy tỷ lệ diện tích bề mặt không thấm tăng dần theo từng năm: 24,81% (năm 2002); 37,85% (năm 2009); 41,61% (năm 2016) và 48,08% (năm 2021) (Hình 5). Trong khi đó, tỷ lệ diện tích thực vật giảm từ 61,17% xuống 32,33% trong giai đoạn 2002 - 2021.

Bảng 2. Diện tích lớp phủ bề mặt được chiết xuất từ dữ liệu ảnh Sentinel-2

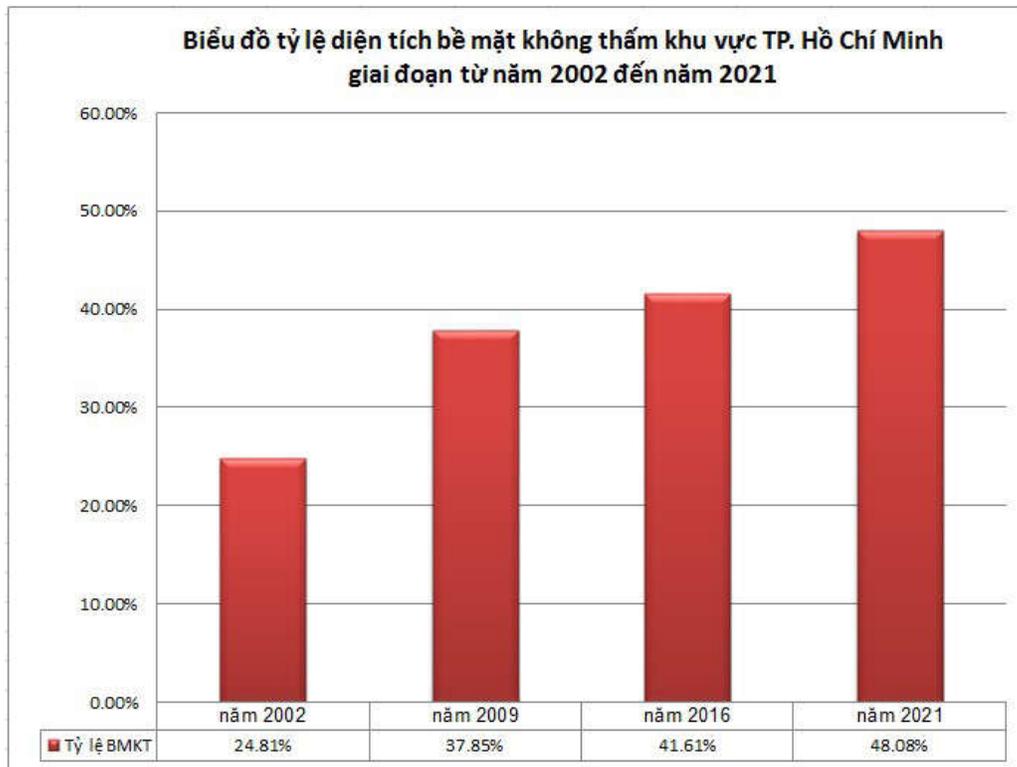
Lớp phủ	Diện tích (Ha)	Chiếm tỷ lệ (%)
Đất trống	3129,38	3,27
Bề mặt không thấm	45993,18	48,08
Nước mặt	15608,69	16,32
Thực vật	30923,32	32,33
Đối tượng khác	4,27	0,004

Để đánh giá độ chính xác kết quả phân loại ảnh, tác giả lựa chọn ngẫu nhiên các vùng mẫu trong toàn bộ khu vực nghiên cứu bao gồm 193, 278, 265 và

275 điểm ảnh được lựa chọn để đánh giá kết quả phân loại của bốn lớp phủ bề mặt. Ma trận sai lẫn của kết quả phân loại theo thuật toán KNN nhận được ở Bảng 3.



Hình 4: Bản đồ lớp phủ bề mặt và bề mặt không thấm khu vực Tp. Hồ Chí Minh năm 2021



Hình 5: Biểu đồ tỷ lệ diện tích bề mặt không thấm khu vực Tp. Hồ Chí Minh giai đoạn từ năm 2002 đến năm 2021

Trong đó độ chính xác toàn bộ và chỉ số Kappa lần lượt là 86,0 % và 0,81 cho kết quả ảnh đã phân loại. Các chỉ số Kappa này được tính toán trong quá trình đánh giá độ chính xác kết quả phân loại dựa vào các vùng mẫu kiểm tra lấy từ bản đồ hiện trạng năm 2020 kết hợp với

Google Earth. Theo các kết quả đánh giá này, kết quả phân loại có thể đảm bảo để thành lập bản đồ bề mặt không thấm và lớp phủ bề mặt cũng như dùng để phân tích các biến động của bề mặt không thấm và lớp phủ bề mặt trong các giai đoạn mà ảnh vệ tinh đã cung cấp.

Bảng 3. Độ chính xác phân loại ảnh

Các mẫu	Đất trống	Bề mặt không thấm	Nước mặt	Thực vật	Tổng hàng	Độ chính xác sản xuất
Đất trống	173	8	0	4	185	0,93
Bề mặt không thấm	10	232	15	6	263	0,88
Nước mặt	7	30	207	12	256	0,80
Thực vật	3	8	43	253	307	0,82
Tổng cột	193	278	265	275	911	
Độ chính xác người dùng	0,89	0,83	0,78	0,92		
Độ chính xác toàn bộ	0,86					
Chỉ số Kappa	0,81					

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, ảnh Sentinel-2 thu được trong năm 2021 đã được sử dụng để chiết tách ra các lớp phủ mặt đất bao gồm thực vật, đất trống, nước mặt và bề mặt không thấm. Để thực hiện nhiệm vụ này, phương pháp phân loại KNN được sử dụng để xây dựng bản đồ lớp phủ bề mặt ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả cho thấy diện tích bề mặt không thấm là 45993,18 ha (chiếm 48,08%), diện tích thảm thực vật là 30923,32 ha (chiếm 32,33%), diện tích nước mặt là 15608,69 ha (chiếm 16,32%), diện tích đất trống là 3129,38 ha (chiếm 3,27%) và diện tích đất khác là 4,27 ha (chiếm 0,004%).

Độ chính xác phân loại ảnh bằng thuật toán KNN cho độ chính xác khá cao, nhận được bao gồm độ chính xác toàn bộ và chỉ số Kappa là 86%, 0,81 cho ảnh đã phân loại.

So sánh với kết quả nghiên cứu trước của tác giả [15] cho thấy tỷ lệ diện tích bề mặt không thấm tăng dần theo từng năm: 24,81% (năm 2002); 37,85% (năm 2009); 41,61% (năm 2016) và 48,08% (năm 2021). Sự gia tăng này chủ yếu chuyển đổi từ lớp thực vật sang bề mặt không thấm xảy ra ở các khu vực ven đô thị (vùng gần ranh giới giữa các quận và huyện của thành phố Hồ Chí Minh). Những thay đổi này cho thấy xu hướng chuyển đổi mục đích sử dụng đất do chính sách quy hoạch sử dụng đất trong quá trình đô thị hóa của thành phố Hồ Chí Minh.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin cảm ơn Cơ quan hàng không Vũ trụ châu Âu đã cung cấp dữ liệu ảnh Sentinel-2 và Tổng cục Đất đai của Bộ Tài nguyên và Môi trường đã cung cấp bản đồ hiện trạng sử dụng đất của khu vực nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Chester L Arnold Jr, C James Gibbons (1996). *Impervious surface coverage:*

Nghiên cứu

The emergence of a key environmental indicator. Journal of the American planning Association 62, 243.

[2]. Liqin Cao, Pingxiang Li, Liangpei Zhang, Xiong Xu (2012). *Estimating impervious surfaces using the fuzzy ARTMAP.* Geomatics and Information Science of Wuhan University 37, 1236.

[3]. Russell G Congalton (1991). *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data.* Remote sensing of environment 37, 35.

[4]. Xuefei Hu, Qihao Weng (2011). *Impervious surface area extraction from IKONOS imagery using an object-based fuzzy method.* Geocarto International 26, 3.

[5]. John R Jensen (1995). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective.*

[6]. James M Keller, Michael R Gray, James A Givens (1985). *A fuzzy k-nearest neighbor algorithm.* IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 580.

[7]. Ivan Lizarazo (2010). *Fuzzy image regions for estimation of impervious surface areas.* Remote Sensing Letters 1, 19.

[8]. Dengsheng Lu, Guiying Li, Wenhui Kuang, Emilio Moran (2014). *Methods to extract impervious surface areas from satellite images.* International Journal of Digital Earth 7, 93.

[9]. Dengsheng Lu, Emilio Moran, Scott Hetrick (2011). *Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban - rural frontier.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66, 298.

[10]. Dengsheng Lu, Qihao Weng (2004). *Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM + imagery.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 70, 1053.

[11]. D. Pairman, McNeill, S., and Belliss, S., (2010). *Impervious surface mapping for the Auckland region.*

[12]. Carmen Quintano, Alfonso Fernández-Manso, Yosio E Shimabukuro, Gabriel Pereira (2012). *Spectral unmixing.* International Journal of Remote Sensing 33, 5307.

[13]. Thomas Schueler (1994). *The importance of imperviousness.* Watershed protection techniques 1, 100.

[14]. J Tang, L Wang, SW Myint (2007). *Improving urban classification through fuzzy supervised classification and spectral mixture analysis.* International Journal of Remote Sensing 28, 4047.

[15]. Phạm Văn Tùng, Nguyễn Văn Trung, Nguyễn Hữu Long, Nguyễn Đức Hùng (2018). *Quan trắc sự mở rộng bề mặt không thấm sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh SPOT-5 và Sentinel-2 ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh.* Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất 59, 69.

[16]. Qihao Weng, Xuefei Hu (2008). *Medium spatial resolution satellite imagery for estimating and mapping urban impervious surfaces using LSMA and ANN.* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 46, 2397.

[17]. Changshan Wu, Alan T Murray (2003). *Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis.* Remote sensing of Environment 84, 493.

[18]. Xinyu Zheng, Zhoulu Yu, Weijiu Ao, Youfu Wang, Amir Reza Tahmassebi, Shucheng You, Jinsong Deng, Ke Wang (2014). *Rural impervious surfaces extraction from Landsat 8 imagery and rural impervious surface index.* Land Surface Remote Sensing II, International Society for Optics and Photonics, 926030.

[19]. Hongwei Zhu, Otman Basir (2005). *An adaptive fuzzy evidential nearest neighbor formulation for classifying remote sensing images.* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 43, 1874.

BBT nhận bài: 06/9/2021; Phản biện xong: 17/9/2021; Chấp nhận đăng: 01/12/2021